

# 身近な試料を用いた高校理科実験の実践例\*

——面白実験あれこれ——

榎 本 浩 一

## はじめに

生徒に「理科は好き？」と尋ねると、「理科は苦手。」「嫌い。」と答える者が学年を上がるにつれ増加している。世間と言われる「理科離れ」である。これについては多くの教育研究機関で論議がなされ、アンケートデータによる分析や、その対策法について論じられる文献やテレビ討論なども見られることは今更言うまでもない。

中学・高校の現場で生徒と会話をしていると、学年が進むにつれ理科を嫌うようになる理由が見えてくる。「小学校の頃は理科が楽しかったのになぁ…。」「学年が上がるにつれて内容がだんだん日常生活から離れたものになる気がする。実験をやっても得られる結果と日常生活との関係が見えず、感動があまりないなぁ。」これらに類似した声が多くに多い。

そこでこれらの事柄を解決するための一手段として、私は高校3年生において行なわれる理科実験（明大中野八王子高等学校では高校3年において自由選択科目が週に2時間（連続）設定されており、その中の1科目に「理科実験演習」が設置されている。この科目は自然科学コース以外の生徒でも履修可能である。）を数年にわたり担当した際に、教科書に紹介されている内容以外に「日常生活で身近にみられる試料を用い、得られるデータに新たな発見と感動が得られるもの」を取り入れ実践してきた。私自身、明治大学農学部で食品製造コースの科目を中心として多くの講義や実験を経験してきたが、大学時代の実験の方が高校時代よりも身近なサンプルから得られる結果に対する感動が大きかった記憶がある。また大学時代の実験ノートも数多く手許に残っていたため、これらを高校生の実験に応用することも可能なのではないかと考えから、実験での着眼点や方法に検討を重ね、いくつかのオリジナル実験を行なった。思考錯誤や失敗も多々あり、改良の余地も多く、また類似の実験が他校でも多数実施されているのではないかとと思われるが、実践結果のうち成功に近いと思われるものを以下にいくつか紹介する。（専門的な記述が多く、単なる「実験手引き書」のような体裁となった部分の多い

---

\* The Examples of Science Experiments of High-School with Familiar Samples  
—Collection of Joyful Experiments— (ENOMOTO Koichi)

ことをお許し下さい。)

生徒の中には「面白実験」と呼ぶ者もあり、また説明を噛み砕いて丁寧に行なえば中学生でも実施可能なのではないかと考えている。

### 実践例 1：「リンゴジャム（プレザーブスタイル）」の製造。

■実験の目的：以下の 2 項目の検証である。

①「酵素は熱により破壊される」ことの検証。

リンゴの果肉には褐変酵素（空気中の酸素と結合し、果肉を茶褐色にする酵素）が存在する。酵素はふつうタンパク質で出来ている。タンパク質は高温に弱く、破壊される。破壊された酵素はその作用を失う。（＝酵素の「失活」という。）熱により酵素を失活させるとリンゴは褐変しない。（この操作を「ブランチング」と呼ぶ。）熱による褐変酵素の失活の確認が 1 つ目の実験目的である。

②「ペクチン＋有機酸で水分がゲル化し、結合水となることにより保存性が高まる」ことの検証。

自由水＝0℃で氷になり、100℃で沸騰する水。食品本体と分離することが容易であり、雑菌繁殖の主原因となるのはこの自由水である。

結合水＝常温でゲル化（寒天状になる）しており、食品本体とは容易に分離しない水。液体として存在する温度域が自由水より広く、ここでは一般的な雑菌は繁殖出来ない。ジャムは有機物・水分含量ともに高く、食品の保存には一見不向きに思われるが、保存食として立派に成り立っているのは、水分のほとんどが結合水だからである。

なお、ジャムの水分を結合水にしているのは果実に含まれる「ペクチン」であるが、これにレモン果汁のような有機酸を加えると、水分がさらにゲル化し、保存性が上昇する。水分のゲル化の確認が 2 つ目の実験目的である。

※生徒には、親しみやすさをもたせるために、以下のような文章で動機づけをしている。（中学生向けに実施する場合は特に有効である。）

- ①リンゴの皮をむいてから、スグに食べずに放っておいたら、表面が赤茶色になってしまった……。そんな経験あるでしょう。あれはなぜだか知っていますか？
- ②砂糖を使ったジャムはとても甘いので、栄養豊富ですがすぐにカビが生えそうですが、実はいつまでたってもカビが生えず、かなり長持ちします。なぜでしょう？

■グループ分け：

実験室（または調理室）のテーブルの状況に応じて何人でも実施可能であるが、あまりに少量だと実験がしにくいので、1 グループを 4～6 人とし、リンゴを 4～6 個準備すると 2 時

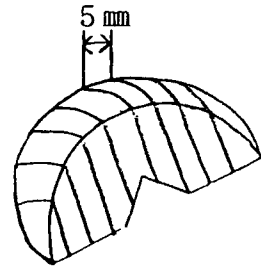
限（100分程度）でちょうど片付けまで終了するようである。

■準備するもの：

- リンゴ（なるべく硬く、酸味の強い品種が好ましい。「国光」「ふじ」など。）1 グループに4～6個。
- 白砂糖（準備するリンゴ重量の80～90%の量。）
- レモン（1 グループに1個。）
- 広口ガラス瓶（蓋付き。タッパーなどは熱い状態で注入した際に変形することがあるので不可。各自の持ち帰り用。）
- 鍋（一般的な大きさのものを1 グループに2個、ガラス瓶の煮沸滅菌用の大鍋1個。）
- コンロ、ヘラ、包丁、組板、レモン絞り器、計量ボウル、計量カップ、計量器、ザル、おたまじゃくし、ガラスコップ、その他必要なもの。（室内にある器具を適宜使用。）

■製造方法：

- ①：手、鍋、リンゴなど、使用するもの一式を良く洗う。
- ②：一方の鍋に7～8分目ほどの水を入れ、沸騰させる。
- ③：リンゴを四つ割にし、剥皮し、除芯し、厚さ約5 mm（右図）に切る。
- ④：ただちに沸騰水の中に入れ、約10～15分間加熱を続ける。  
（浮いてくる果肉はヘラで押し沈める。）



- [この操作が不十分だと酵素が失活せず、褐変したジャムになってしまう。]
- ⑤：果肉をすくい上げ、計量する。（およその重量を記録しておく。）[湯は捨てない。]
  - ⑥：果肉の半量をもう一方の鍋に移し、⑤で使用した湯を加える。（ヒタヒタくらいの量まで。）ヘラでかきまぜながら加熱する。
  - ⑦：記録しておいた果肉重量の約80%量の砂糖を用意し、その約3分の1の量を鍋に溶かし入れ、ヘラでかきまぜながら加熱を続ける。
  - ⑧：果肉が溶けてドロドロになって来たら、さらに約3分の1の量の砂糖を加え、残った果肉も加え、ゆっくりかきまぜながら加熱を続ける。（はじめに加えた果肉がペースト部分、後から加えた果肉が固形分になる。）
  - ⑨：後から加えた果肉が溶けない程度にかきまぜながら加熱を続け、沸騰してきたら最後の約3分の1の量の砂糖を加える。
  - ⑩：加熱を続けながら、レモン汁を加える。
  - ⑪：ガラスコップ（またはピーカー）に水を入れ、ヘラで取ったジャムを1滴落とし、半滴くらいが下まで落ちる状態が完成の目安。水中にパァーッと散るのでは未完成。全部が固まって落ちるのは煮詰めすぎ。（温度計で完成を知る場合は102℃～103℃が完成の目

安。) 万一煮詰めすぎたら⑤で残っている湯を適宜加え加熱して微調整をする。いつまで煮詰めても完成しない場合は砂糖を少々追加するか、食品添加物用のペクチン粉末を少々加える。



⑫：完成したら、あらかじめ別の大鍋に用意し沸騰させておいた熱湯の中でガラス瓶を煮沸滅菌し、取り出した中にジャムを詰める。

⑬：全てをよく洗い、元の状態に戻して終了。

■指導上の留意点、応用実験の例など。

- この実験実施には連続した2時限（50分×2コマ）が必要である。
- 一般の理科実験よりも家庭科で用いる器具の方が使い勝手が良いので、理科室よりも家庭科（調理）室を使用する方が便利である。
- 火傷や怪我など基本的なことに注意を払っておけば、製造過程・製品での失敗はほとんどないので生徒の満足度はかなり高い。
- 生徒に「何に注目すべき実験」であるのかを明示し徹底する時間を設け、あらかじめ理論を周知させておかないと、単なる「菓子作り」として認識され実施される可能性がある。私の場合、調達すべき材料・手順などとともに「目的・注目すべき事柄」を実施二日前にプリントにして配布し、当日に臨んでいる。さらに実施直前に15分～20分ほど別室にて理論の説明を行ない、その後実施するという手順を追っている。これを行なうことで生徒の動き・反応・注目点が明らかに異なっていることがわかる。
- 生徒が製造するのは「褐変していない製品」のみであるので、あらかじめ褐変させたリンゴを材料にしたジャムを製造しておき、各自の製品と比較させるとさらに理解が深まるようである。
- 加える砂糖の量を変えた製品をいくつか製造し、シャーレなどに入れて同条件のもとで放置すると、保存性に関する比較観察実験も可能である。（砂糖含量の少ない製品の方がはやくカビが生える。）

## 実践例 2 :

### 中和滴定による市販の乳酸飲料（カルピスウォーター）の乳酸濃度（％）の測定。

この実験は、高校化学で行なわれる「中和滴定」の応用例として考案されたものである。一般の教科書では、濃度未知の酸溶液を濃度既知の塩基溶液で滴定するものであるが、身近な酸の測定例として「食酢」があげられている。ただしこの中に「メスフラスコを用いて食酢を10倍に希釈する」という、ホールビペットの取り扱いとともにかなり熟練を要する操作があり、毎週のように実験をやっている生徒でない限りこれらを上手くこなすことは難しいのではないかと思われる。（授業の中に実験を取り入れる場合、教科書の内容と実際授業時間数から概算しても実験実施は年間数回が限度であろう。）実験器具の正しい取り扱いの習熟という観点からも、これらのことを一度に完全にマスターさせることは、現場の状況から考えて不可能に近い。しかも食酢はメスフラスコ内で希釈すると泡が立ち、液面が不明瞭になる場合がしばしばであり、泡が消えるまで待つことは時間的なロスも大きい。

そこでメスフラスコ操作の習熟は別の実験の際に指導することとし、今回はホールビペットとビュレット操作の熟練のみに指導内容を限定し、試薬調製上の誤差は「補正ファクターの算出」の指導により調整して正確な値を導き出すという手法を取っている。

[この実験には「規定濃度（記号：N）」や「補正ファクター（記号：F）」という、高校では指導しない内容を含んでいるが、これらの概念は大学の理系学部では基礎課程で今だに用いられているのが現状であり、実験実施のための授業での説明の中に盛り込んだところ生徒の間には大きな混乱もなく受け入れられたため、以来実験理論の説明の中に盛り込んでいる。（高校での教育課程からは削除されているので、この部分は定期試験などには出題しないことにしている。）]

■実験の目的：以下の二項目である。

①0.05モル/l (0.10N)-シュウ酸標準溶液をもとに、各グループで調製した

0.10モル/l (0.10N)-NaOH の補正ファクター (F) の値を求める。

②補正ファクターの算出された NaOH 水溶液を用いて、市販の乳酸飲料（カルピスウォーター）の乳酸濃度（％）を求める。

※生徒には、新出語句や数値処理の方法・意味を理解させるため、以下の内容を記述したプリントを事前に配布している。

1・今回の実験では「規定濃度（単に規定度ということが多い。）」という単位を使う。単位は N と書き、ノルマルまたは○規定と読む。

規定度とは、溶液 1 l 中に何モルの  $\text{H}^+$  または  $\text{OH}^-$  が含まれるかを表した濃度であ

る。したがって、一価の酸や塩基は1分子から1個の $\text{H}^+$  または $\text{OH}^-$  しか出ないから、その物質のモル濃度と規定度は同じ値になるが、例えば二価の酸や塩基は1分子から2個の $\text{H}^+$  または $\text{OH}^-$  が放出されるので、その物質のモル濃度の2倍の $\text{H}^+$  または $\text{OH}^-$  が得られる。そこで規定度はモル濃度の2倍になる。

計算法：規定度 (N) = モル/l × 価数

今回、標準水溶液のシュウ酸（蓚酸）は $(\text{COOH})_2$ であり「二価の酸」なので、0.05モル/lのシュウ酸は、0.10N- $(\text{COOH})_2$ ということになる。

0.10モル/l-NaOHは「一価の塩基」なのでそのまま0.10N-NaOHである。

- ファクター（補正ファクター）とは…

例えば、滴定で求め、数値処理で得られた値（今回「真値」と呼ぶ）が0.123Nであったとする。この場合、数値をこのまま次の滴定のモトになる値にするとデータがどんどん複雑になってしまうので不便である。このような場合、この値をねらった（作ろうとした）濃度とズレの濃度という2つの因子に分けて表記するのが一般的である。

この「ズレの値」を「補正ファクター（記号：F）」という。

例えば、0.10Nをねらって0.123Nとなった場合、「0.10規定，ファクター1.23」という。（少し濃ければ $F=1.23$ ，少し薄ければ $F=0.81$ といった具合になる。）

計算法：真値 = ねらった規定度 (N) × ファクター (F)

- 今回の実験によるファクター (F) の求め方：

計算法： $N \times F \times V(\text{ml}) = N' \times F' \times V'(\text{ml})$

## 2・乳酸濃度（%）の求め方：

乳酸は $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ ，分子量=90.0，1価の酸である。

（算出の方法は，食酢中の酢酸濃度の場合と同様である。）

## ■グループ分け：

実験テーブルの状況に応じて適宜変更可能であるが，私は二人一組にして実施している。

## ■準備するもの：

- ビュレット，ホールビペット，ビーカーなど，高校化学の教科書に記載の器具で充分であるが，メスフラスコは不要。
- 0.10N-シュウ酸標準水溶液はあらかじめ調製し，補正ファクターの値も明示しておく。
- 乳酸飲料（カルピスウォーター）。

## ■実験手順：（器具洗浄・共洗いなどの細かな操作については割愛する。）

- ①：NaOHの結晶約1gを取り，300ml容ビーカーに入れ，蒸留水を加えて溶かし，全容

250 mlにする。(NaOH=式量40.0なので、これで0.10モル/lとなる。なお、目盛りはビーカーの目安目盛りで良い。)

②：良く溶けたらビュレットに注ぎ込み、目盛りを合わせる。

③：0.10N-シュウ酸標準水溶液10 mlをホールピペットで取り出し、三角フラスコに注ぎ、指示薬（フェノールフタレイン）を2～3滴加える。

④：滴定。（3回以上行ない、平均値を求める。）

⑤：シュウ酸標準水溶液10 mlのかわりに乳酸飲料10 mlを用いて③④と同様の操作を行なう。

⑥：全てをよく洗い、元の状態に戻して終了。

#### ■留意点、実験結果、応用実験の例など。

- ・この実験実施には1時限（50分）でも行なえるが、手際の悪いグループや飲み込みの悪い生徒の指導を考えると2時限（50分×2コマ）が望ましい。
- ・乳酸飲料の乳酸濃度は、0.1%前後になるのが普通である。生徒は身近なものから導き出された結果ということでの満足度も高く、滴定の応用例として興味を持つ者も多い。
- ・カルピスウォーターは、希釈用のカルピス原液（ビン入り）を5倍に希釈したものとして販売されているので、測定結果を5倍すると原液の乳酸濃度を算出することが出来る。
- ・同様の手法で、市販の乳酸菌飲料（ヤクルト、マミーなど）の乳酸濃度の測定も可能ではあるが、これらの多くは肌色をしているので指示薬の色調変化が見分けにくいという難点がある。

#### 実践例3：洗剤の洗浄力測定。（検量線から求める値を導き出す方法の習得。）

この実験は、生徒自ら描いた検量線に目的とする試料のデータを乗せ、求める値を導き出す理論と方法を習得させるためのものである。

#### ■目的・理論：

- ・標準汚染布（洗濯科学協会から販売されている。）、未汚染布、洗浄後の標準汚染布の反射率データから、洗剤の時間毎の洗浄率を求める。
- ・あらかじめ汚しておいた布を洗浄した場合、汚れが落ちるほど布は光を多く反射する。この原理を応用し、汚染布を一定時間（5分、10分、15分）洗浄し、それぞれの布の反射率から洗浄の程度（＝洗剤の洗浄力）を導き出す。

※反射率測定器は市販されていないが、パーツが揃えば安価に自作が可能であり、比較的正确な値が導き出せる。

#### ■グループ分け：

1 グループ何人でも可能だが、2人で1グループが最も手際・理解度ともに良好のようであ

る。

## ■準備するもの：

- ・標準汚染布，未汚染布，洗濯洗剤，マグネチックスターラー（自動攪拌機），500 ml 容および1000 ml 容ビーカー，割箸，アイロン，反射率測定器，ストップウォッチ，その他。

## ■実験手順：（器具洗浄などの細かな操作については割愛する。）

- ①：洗剤の標準使用量から，水500 ml あたりの洗剤量を求め，計り取る。
- ②：ボールペンで汚染布の一端にマークを付け，表裏が見分けられるようにし，反射率測定器で反射率データを求める。（表裏別々に記録しておく。）これが洗浄率0%（＝洗浄前）のデータとなる。
- ③：500 ml 容ビーカーに水500 ml（ビーカーの目安目盛りで良い）を取り，マグネチックスターラーにセットし，回転速度を一定にして水流をつくる。
- ④：①で計り取った洗剤を入れ，完全に溶けたところで標準汚染布を入れ，所定の時間だけ攪拌を続ける。
- ⑤：時間が来たら攪拌をやめ，割箸で布を取り出し，きれいな手で軽くしぼる。
- ⑥：1000 ml 容ビーカーに水を1000 ml（ビーカーの目安目盛りで良い）を入れ，割箸で布をはさみ，水中で2分間「すすぎ」を行なう。
- ⑦：水を入れ替え，⑥と同じ操作をもう一度繰り返す。
- ⑧：藁半紙の上に布を広げ，アイロンで乾燥させる。
- ⑨：反射率測定器で，洗浄後のデータを求める。（表裏それぞれについて記録する。）
- ⑩：洗浄時間を変えて，①～⑨を繰り返す。

## ■反射率測定器の概要（原理）と検量線の描き方：

- ・反射率測定器の原理は下図1のとおりである。

暗黒箱内の豆電球を光源とし，その光を布に反射させ，CDS（光伝導セル：受光部分に当たる光量に応じて電気抵抗値が変化する電気部品）に当てる。これにつないだテストの値から，検量線を描いてゆく。

＊CDSは秋葉原のパーツ屋で1個200円程度，暗箱は校内にある段ボール箱を加工して製作，テストは実験室内の検流計を使用すると完成する。見掛けの割には正確なデータが得られる。

- ・検量線の描き方は下図2および以下の手順のとおりである。

- ①反射率測定器で，白色布の値を測定する。〔点A。これを洗浄率100%（完全洗浄）の値とする。〕
- ②同様に汚染布の値を測定する。〔点B。これを洗浄率0%（未洗浄）の値とする。〕
- ③縦軸に洗浄率（%），横軸に電流（ $\mu\text{A}$ ）をとったグラフ用紙を用意し，洗浄率100%及



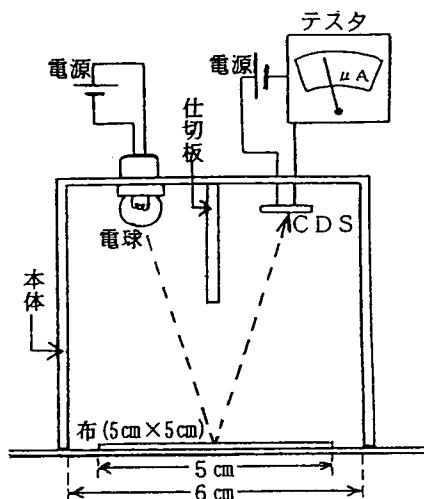


図 1

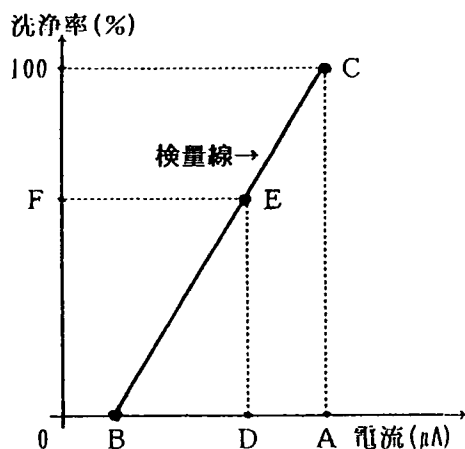


図 2

び 0 % における電流を打点する。[100 % における点を C, 0 % における点を B とする。]

④ B と C を直線でむすぶ。[これが「検量線」となる。]

⑤ 洗浄実験で得られた電流値を横軸上にとる。[点 D。]

⑥ 点 D から垂線をのびし、検量線との交点を点 E とする。

⑦ 点 E から縦軸に向け、横軸に平行な直線を引き、縦軸との交点を点 F とする。この点が洗浄率を示す値である。

注) 補助実験により、この検量線は直線になることが確認されている。

#### ■留意点、実験結果、応用実験の例など。

- 一般家庭で使用されている洗濯洗剤以外、特殊な薬品を使用することがない実験なので安全度は高い。
- 検量線の理論などはあらかじめ時間を設定して十分に理解させておく必要がある。
- 反射率測定器は有色の汚れに関するものしか測定できず、また蛍光増白剤の多量に入った洗剤では測定値に誤差が生じるという難点があるので、より正確な結果を期待するなら蛍光増白剤についての指導も行なう必要がある。
- 実験結果についての生徒の関心の度合いは予想以上のものであり、「酵素パワーについての比較は出来ないものか。」「もっと色々な洗剤について実験し、最も汚れ落ちの良い商品を知りたい。」などの意見が多数寄せられた。
- この実験の検量線は、0 % と 100 % の値 (2 点) のみで描くという、かなり大胆な方法で

ある。検量線について、より細かな指導をしようとする場合には、中間点の値も打点する必要がある。また「最小自乗法」などの説明も取り入れることも出来る。(高3で実施の場合は大学での実験のデータ処理のための知識として「最小自乗法」の説明も、演習問題を用いて行なった。)

## おわりに

以上の実験は、用いる試料が家庭科とも重なり、生徒の間からは「これって本当に理科実験なんですか？家庭科の実習では？」という声も聞かれる。しかし着眼点や実験理論を説明すると理科の教科書の内容との関連性があまりにも多いことに驚く者が多数であった。もちろん日常生活という観点で実施すれば家庭科での実施も可能であると私自身思っている。

ただし高校での指導内容を逸脱している部分のある事も事実であり、改良の余地は多々随所に存在する。今後の検討課題と考えている。

「高校3年生にもなってこの程度の実験をやっているのか。」との意見もあるであろうが、私は「得られるデータに新たな発見と喜びがあり日常生活の中で理科的な着眼点が生まれる」のが理科実験の学年を越えた大きな目標(テーマ)のひとつなのではないかと考えている。

これからも、実験の後で、「あー面白かった。」「○○って、中にこんな成分が入ってるんだー。」「教科書に書いてある事って、ここで使われているんですね。」「計算は大変だけど結果が知りたくて、つい必死になってレポート作ってしまいましたー。」「家に帰ってお母さんに教えてあげよう。」「次の実験は何ですか？何を準備すれば良いですか？」などの声が生徒の中から自然に起こるような理科実験を考案・実施して行こうと考えている。

## 参考文献：

- 高等学校農業科用教科書「食品製造」「食品化学」，文部省
- 高等学校理科用教科書「化学ⅠB」「化学Ⅱ」，東京書籍
- 「紀要」創刊号，P. 51～P. 58，明大中野八王子中学校・高等学校